

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.04.94.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 08.10.95 Bulletin 95/40.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : Société anonyme dite: SOFIE — FR.

72 Inventeur(s) : Canteloup Jean et Mathias Jacky.

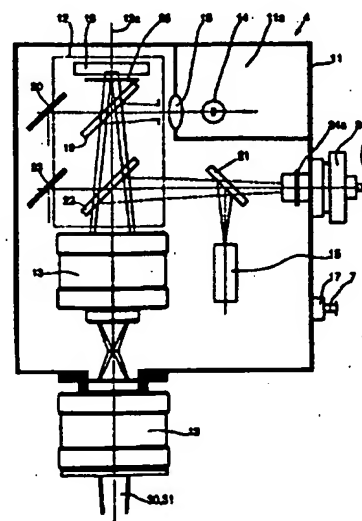
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Bureau D.A. Casalonga Josse .

54 Procédé et dispositif pour quantifier in situ la morphologie et l'épaisseur dans une zone localisée d'un cou-
che superficielle en cours de traitement sur une structure à couches minces .

57 Le procédé de l'invention consiste essentiellement à
envoyer un faisceau de lumière blanche et un ou deux fais-
ceau(x) laser sur un échantillon enfermé dans une cham-
bre de traitement sous vide, à effectuer à l'aide d'un mono-
chromateur une analyse spectrale de la lumière blanche
réfléchi par l'échantillon et/ou une interférométrie différen-
tielle avec une longueur d'onde prédéterminée (λ) en vue
de déterminer l'épaisseur et sa vitesse de variation instan-
tanée de la couche superficielle de l'échantillon, et à visu-
aliser la cartographie monochromatique de la morphologie
de la zone localisée obtenue par interférométrie différen-
tielle à l'aide d'une caméra matricielle.

Application: contrôle des traitements sous vide des struc-
tures à couches minces, notamment des semi-conducteurs
et circuits intégrés, en surveillant en temps réel et in situ la
morphologie, l'épaisseur et la vitesse de variation de
l'épaisseur de la couche superficielle de l'échantillon traité.



Procédé et dispositif pour quantifier in situ la morphologie et l'épaisseur dans une zone localisée d'une couche superficielle en cours de traitement sur une structure à couches minces.

La présente invention concerne un procédé pour quantifier la morphologie et mesurer l'épaisseur ainsi que son évolution dans une zone localisée d'une couche superficielle sur une structure à couches minces, ainsi qu'un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé.

5 Parmi de nombreuses applications possibles de l'invention, on peut citer le contrôle in situ et en temps réel de la fabrication de microsystemes comme des semi-conducteurs, des circuits intégrés, par exemple le contrôle dimensionnel par extraction de contour, la mesure absolue de l'épaisseur d'une couche et sa vitesse de croissance
10 (déposition) ou de décroissance (gravure), etc.

On connaît par la demande de brevet français n° 2 680 414 (SOFIE) un ensemble compact d'observation et de mesures interférométriques simultanées par laser permettant d'effectuer des mesures interférométriques in situ sur un empilement de couches
15 minces placé dans une chambre de traitement sous vide. L'ensemble comprend une caméra d'observation avec l'axe optique de l'objectif en commun pour un faisceau d'éclairage monochromatique et pour un ou deux faisceaux laser de mesures interférométriques.

La technique révélée dans ce document antérieur est performante,
20 notamment pour contrôler la vitesse de croissance ou de décroissance de la couche superficielle d'une structure à couches minces. Elle souffre cependant de certaines imperfections. En particulier, le faisceau lumineux monochromatique d'éclairage et le faisceau laser de mesures ne présentent pas exactement la même longueur d'onde, ce qui
25 crée un problème d'achromatisme rendant la mise au point simultanée pour les deux faisceaux lumineux possible seulement si les objectifs sont achromatiques. De plus, cette technique ne permet pas une mesure absolue de l'épaisseur de la couche superficielle dans la zone observée, car elle est basée sur une mesure différentielle
30 interférométrique qui se répète à modulo une période.

On connaît également par le brevet américain n° 4 984 894

(KONDO) une technique de mesure de l'épaisseur de la couche superficielle d'une structure multicouches. Cette technique consiste à éclairer la structure par un faisceau lumineux visible ou un faisceau lumineux dans le spectre ultraviolet et à effectuer une analyse spectrale d'une partie du faisceau réfléchi en vue de déterminer l'épaisseur de la couche superficielle de la structure. Mais cette technique est proposée pour équiper un microscope qui ne peut pas être utilisé dans les conditions in situ pour mesurer l'épaisseur des couches portant des motifs pendant leur fabrication à l'intérieur d'une chambre fermée maintenue sous vide. En effet, la distance séparant la structure observée et l'objectif de l'appareil est relativement importante (le plus souvent supérieure à 10 cm) rendant le microscope inutilisable.

La présente invention a pour objet de proposer une technique perfectionnée pour remédier aux limitations des techniques classiques précitées et permettre une surveillance in situ et en temps réel de la morphologie et de l'épaisseur d'une zone localisée de la couche superficielle sur une structure à couches minces.

L'invention a également pour objet de fournir un dispositif de surveillance mettant en oeuvre cette technique particulière avec un très faible encombrement afin de permettre son intégration dans l'équipement préexistant pour la technique sous vide de fabrication des structures complexes à couches minces.

Le procédé de l'invention est destiné à la surveillance in situ et en temps réel de la morphologie et de l'épaisseur d'une zone localisée de la couche superficielle d'une structure à couches minces. La structure à couches minces est enfermée dans une chambre sous vide pourvue d'un hublot transparent ou fenêtre d'observation. Le procédé de l'invention consiste à : envoyer un faisceau lumineux d'éclairage dans un spectre de longueurs d'onde prédéterminées et au moins un faisceau laser sur la zone localisée, les faisceaux empruntant un chemin optique commun qui est centré sur l'axe optique de l'objectif d'une caméra d'observation et traversant le hublot de la chambre sous vide pour atteindre la zone localisée; envoyer le faisceau lumineux réfléchi par la zone localisée qui emprunte ledit chemin optique commun, d'une

part, vers le capteur matriciel de la caméra à travers un filtre dont la longueur d'onde caractéristique est voisine de la longueur d'onde du faisceau laser en vue de visualiser une cartographie de la zone localisée par interférométrie différentielle monochromatique, la zone localisée étant centrée autour du spot laser, et d'autre part, vers un monochromateur à travers respectivement et successivement un diaphragme de sélection, un câble de fibres optiques et une fente d'analyse à l'entrée du monochromateur; effectuer à l'aide du monochromateur une analyse spectrale du faisceau lumineux réfléchi pour déterminer l'épaisseur de la couche superficielle dans la zone localisée, et/ou une interférométrie différentielle avec une longueur d'onde prédéterminée en vue de mesurer la variation d'épaisseur dans le temps de la couche superficielle dans la zone localisée.

Le faisceau laser permet de centrer le faisceau lumineux d'éclairage sur la zone localisée et de centrer le diaphragme de sélection dont l'ouverture est prédéterminée ou rendue réglable pour définir un plan image à l'entrée du câble de fibres optiques destiné au monochromateur. Il permet aussi par mesure de son intensité la mise au point du faisceau lumineux sur l'échantillon. Le plan image est défini en fonction des caractéristiques optiques de l'objectif de la caméra, de la morphologie de la zone localisée (ne contenir qu'une partie représentative de la couche superficielle surveillée par l'exclusion des parties adjacentes autres que la couche concernée) et le rapport signal sur bruits pour les signaux issus du monochromateur.

La fente d'entrée du monochromateur est déterminée en fonction des caractéristiques du monochromateur, des diamètres et de la disposition des fibres optiques de transmission et de l'ouverture du diaphragme de sélection.

L'analyse spectrale du faisceau réfléchi permet d'obtenir l'épaisseur de la couche superficielle dans la zone observée. Cette détermination n'est possible en pratique que pour des épaisseurs de la couche superficielle au-delà d'une valeur de seuil qui dépend de la plus petite des longueurs d'onde du spectre du faisceau lumineux d'éclairage. Il est possible de diminuer la valeur de seuil minimum dans l'analyse spectrale en choisissant un spectre de faisceau

d'éclairage dont la plus petite de ses longueurs d'onde est décalée vers l'ultraviolet.

5 Cependant, l'objectif de la caméra d'observation est réalisé à partir des lentilles optiques qui présentent de bonnes caractéristiques optiques dans le spectre des lumières visibles, mais de mauvaises caractéristiques dans le spectre des lumières ultraviolettes. Le glissement du spectre d'éclairage vers les longueurs d'onde ultraviolettes n'est donc pas permis au-delà d'une certaine limite optique de l'objectif utilisé. L'invention permet dans ce cas de créer un
10 circuit optique parallèle à l'aide d'un module additionnel qui sera décrit par la suite.

Selon l'invention, on choisit une longueur d'onde spécifique dans le spectre du faisceau lumineux d'éclairage et l'on examine par interférométrie différentielle l'évolution de l'intensité lumineuse à
15 cette longueur d'onde spécifique dans le temps. De cette façon, on peut déterminer avec précision la variation d'épaisseur de la couche superficielle de l'échantillon dans le temps. Cette technique permet de suivre très précisément l'évolution de l'épaisseur de la couche superficielle d'échantillon, notamment pendant le procédé de gravure sous plasma ou le procédé de dépôt chimique en phase gazeuse de la
20 couche superficielle.

La combinaison entre l'analyse spectrale et l'interférométrie différentielle permet donc de déterminer en temps réel, d'une part, l'épaisseur absolue de la couche superficielle de l'échantillon et la
25 vitesse de variation momentanée de cette épaisseur.

Il est possible d'effectuer l'interférométrie différentielle à la longueur d'onde du faisceau laser en raison de son intensité élevée qui assure un bon rapport signal sur bruit permettant une bonne analyse. Il est alors préférable de choisir la longueur d'onde du faisceau laser à
30 une extrémité du spectre de faisceau lumineux d'éclairage en vue de ne pas perturber l'analyse spectrale qui peut avoir lieu simultanément, par exemple sur le même détecteur. D'une manière générale, le spectre du faisceau lumineux d'éclairage recouvre au moins partiellement le spectre de lumière visible (de longueurs d'onde comprise entre 400 et
35 800 nm) afin de permettre une bonne observation visuelle par la

caméra qui fournit une cartographie par interférométrie différentielle de la zone localisée de l'échantillon.

L'invention sera mieux comprise à l'étude de la description détaillée d'un mode de réalisation pris à titre nullement limitatif et illustré par les dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est un schéma explicatif de l'appareillage utilisé dans une application particulière du procédé de l'invention;

la figure 2 est un schéma explicatif du dispositif de l'invention;

les figures 3a et 3b montrent schématiquement les vues détaillées de la zone localisée de l'échantillon surveillé selon la technique de l'invention;

la figure 3c montre schématiquement la disposition des images représentatives de l'invention;

la figure 4 montre le principe de fonctionnement du monochromateur;

les figures 5a et 5b montrent schématiquement les courbes d'analyse spectrale et d'interférométrie différentielle respectivement; et

la figure 6 montre schématiquement une variante du dispositif de l'invention.

La demanderesse a mis au point un ensemble très compact d'observation et de mesures interférométriques simultanées par laser, en particulier sur des structures à couches minces, technique exposée en détail dans la demande de brevet français n° 2 680 414. L'appareillage et le dispositif décrits à titre d'exemples illustratifs de la présente invention, présentent beaucoup de points communs avec ceux mis au point antérieurement par la demanderesse. Pour cette raison, le lecteur est invité à se reporter à la demande de brevet français n° 2 680 414 pour plus de détails sur l'appareillage et le dispositif.

Comme montré sur la figure 1, une chambre de traitement 1 sous vide enferme un échantillon 2 à traiter, par exemple une plaque de circuit intégré en cours de fabrication par gravure sous plasma, et comporte dans sa paroi supérieure une fenêtre 3 en silice. Une unité de surveillance 4 est montée au-dessus de la chambre de traitement 1 sur

une table 5 à déplacement horizontal X-Y. L'unité de surveillance 4 est reliée par un câble de fibres optiques 6 et un câble électrique 7 à une unité 8 d'exploitation et de commande à laquelle sont associés un clavier de commande 9 et un écran de visualisation 10. L'unité 8 est reliée à deux moteurs électriques pas à pas (non représentés) pour permettre le déplacement horizontal de l'unité de surveillance 4 sur la table 5.

Comme montré plus en détail sur la figure 2, l'unité de surveillance 4 présente un boîtier 11 qui enferme une caméra vidéo 12 dont l'objectif 13 réglable peut être du type autofocus, une source d'éclairage 14, une source de rayons laser 15 et un certain nombre de lames optiques pour assurer le guidage des faisceaux lumineux selon les chemins optiques prédéterminés.

La caméra vidéo 12 comprend un capteur 16 de préférence constitué d'une pluralité de cellules à transfert de charge (CCD) disposées en une matrice. Le capteur 16 est relié d'une manière non représentée à un connecteur électrique 17 pour le câble électrique 7 en vue de fournir un signal vidéo à l'unité 8 d'exploitation et de commande pour être visualisé par l'écran 10, le connecteur électrique 17 étant monté sur le boîtier 11.

Le boîtier 11 comporte un compartiment intérieur 11a dans lequel se trouve la source d'éclairage 14 qui émet dans un spectre présentant de préférence un recouvrement au moins partiel avec le spectre de lumière visible. Pour simplifier la description suivante, on parlera de la lumière blanche émise par la source d'éclairage 14. Le compartiment intérieur 11a présente une fenêtre pourvue d'une lentille optique 18 qui oriente le faisceau lumineux d'éclairage vers une lame semi-transparente 19 disposée entre l'objectif 13 et le capteur 16 de la caméra 12, de façon à ce que le faisceau lumineux d'éclairage emprunte le chemin optique de la caméra, c'est-à-dire l'axe optique 13a de l'objectif 13. Un premier piège à lumière 20 sous forme d'une lame est placé derrière la lame semi-transparente 19 en vue d'absorber la partie du faisceau lumineux d'éclairage ayant traversé la lame semi-transparente 19 et de réduire ainsi les perturbations optiques dans l'unité de surveillance 4.

La source de rayons laser 15 peut comporter une diode laser comme représenté sur la figure 2 ou deux diodes laser séparées (non représentées). Le faisceau laser émis par la source 15 est projeté via une lame semi-transparente 21 sur une autre lame semi-transparente 22 intercalée dans le trajet optique entre l'objectif 13 et le capteur 16 de la caméra 12, de manière que le faisceau laser emprunte également le chemin optique de la caméra 12 qui est confondu avec l'axe optique 13a de l'objectif 13. Un autre piège à lumière 23 sous forme d'une lame est disposé derrière la lame semi-transparente 22 en vue d'absorber les faisceaux lumineux égarés dans le boîtier 11 de l'unité de surveillance 4.

Ainsi, le boîtier compact 11 de l'unité de surveillance 4 enferme la caméra vidéo 12 avec la source d'éclairage 14 et la source de rayons laser 15 pour émettre un faisceau lumineux composé du faisceau lumineux d'éclairage émis par la source d'éclairage 14 et du faisceau laser émis par la source de rayons laser 15 selon un chemin optique commun qui est confondu avec l'axe optique 13a de l'objectif 13 de la caméra 12. Le faisceau lumineux combiné est envoyé par l'unité de surveillance 4 à travers l'objectif 13 et la fenêtre 3 de la chambre de traitement 1 pour arriver sur l'échantillon 2 en structure à couches minces (voir figure 1). Le faisceau lumineux réfléchi par l'échantillon 2 emprunte le même chemin optique commun que le faisceau lumineux incident et traverse l'objectif 13 (figure 1) pour pénétrer à l'intérieur du boîtier 11 de l'unité de surveillance 4. La lame semi-transparente 22 sépare le faisceau lumineux réfléchi en deux parties. Une partie transmise qui après avoir traversé les lames semi-transparentes 22 et 19 arrive au capteur 16 de la caméra 12. Une partie réfléchie par la lame 22 traverse la lame semi-transparente 21 pour atteindre un câble de fibres optiques 6, via un connecteur optique 24 monté sur le boîtier 11 de l'unité de surveillance 4.

Le faisceau réfléchi orienté vers le capteur 16 de la caméra 12 correspond au spectre du faisceau lumineux d'éclairage avec un faisceau laser réfléchi de haute intensité. Afin d'éviter l'éblouissement du capteur 16 (et donc de la caméra vidéo 12) par le faisceau laser réfléchi, on dispose un filtre 25 dans le trajet optique de la caméra 12

juste devant le capteur 16. Le filtre optique 25 est transparent pour une longueur d'onde caractéristique et opaque pour les autres longueurs d'onde afin de ne laisser passer qu'une lumière quasiment monochromatique vers le capteur 16 de la caméra 12. Ainsi, chaque cellule CCD du capteur 16 se comporte individuellement comme un interféromètre représentant un pixel du plan image de la caméra 12. Il en résulte que la caméra vidéo 12 se comporte comme une pluralité d'interféromètres montés en matrice et fournit ainsi un signal vidéo dont la visualisation sur l'écran 10 correspond à une cartographie monochromatique représentant la morphologie superficielle de la zone localisée éclairée de l'échantillon 2. De préférence, on choisit la longueur d'onde caractéristique du filtre optique 25 suffisamment voisine de la longueur d'onde du ou des faisceau(x) laser de façon à visualiser également sur l'écran 10 le ou les spot(s) laser à l'intérieur de la zone localisée éclairée sans que ce dernier éblouisse la caméra vidéo 12.

Le connecteur optique 24 reçoit une partie du faisceau réfléchi pour l'envoyer à l'unité 8 d'exploitation et de commande via le câble de fibres optiques 6. Le connecteur 24 comporte un diaphragme de sélection 24a dont l'ouverture est prédéterminée ou rendue réglable afin de déterminer un plan image correspondant à une partie seulement de la zone localisée éclairée de l'échantillon 2 aux fins d'analyse.

Les figures 3a à 3c montrent schématiquement quelques images représentatives du procédé de l'invention. L'échantillon à traiter 2 est une structure à couches minces servant à la fabrication par gravure ou dépôt sous plasma de circuits intégrés. L'échantillon 2 comprend un substrat 26 en silicium, une sous-couche 27 recouvrant le substrat 26 et une couche superficielle 28 en oxyde de silicium dans laquelle va être gravé le circuit intégré. Pour ce faire, certaines parties de la couche superficielle 28 sont protégées par un masque 29. La zone 28a de la couche superficielle 28 non protégée par le masque 29 est attaquée par un procédé plasma, connu en soi, jusqu'à une épaisseur prédéterminée.

Le faisceau lumineux incident émis par l'unité de surveillance 4 éclaire une zone localisée 2a sur la surface supérieure de l'échantillon

2. La zone localisée 2a est délimitée par le faisceau lumineux d'éclairage en lumière blanche 30. Le faisceau laser 31 est concentrique au faisceau d'éclairage 30 et permet le positionnement précis de ce dernier sur l'échantillon 2.

5 Comme décrit précédemment, une cartographie monochromatique de la zone localisée éclairée 2a de l'échantillon 2 (limitée par la surface utile de la caméra) est établie en temps réel par la caméra vidéo 12 et visualisée simultanément sur l'écran 10. On peut donc surveiller en temps réel la morphologie et son changement dans le temps de la zone localisée éclairée 2a avant et pendant le procédé de gravure sous plasma de l'échantillon 2, ainsi que le contrôle dimensionnel en temps réel des motifs dans la zone localisée éclairée 2a par comptage de pixels et ajustement de seuils d'intensité lumineuse de la caméra vidéo 12. Le spot laser 31a (figure 3b) positionné sur la partie exposée 28a de la couche superficielle 28 de l'échantillon 2 est visible sur la cartographie monochromatique établie par la caméra vidéo 12.

Dans l'unité 8 d'exploitation et de commande se trouve un monochromateur 8a dont le fonctionnement illustré sur la figure 4 va être décrit par la suite. Pour être représentatif, le faisceau lumineux envoyé au monochromateur 8a aux fins d'analyse doit être limité à une zone spécifique 32 (figure 3b) représentative de l'échantillon 2. La gravure sous plasma de l'échantillon 2 nécessite la surveillance de l'épaisseur e de la variation d'épaisseur Δe dans le temps de la partie non protégée 28a de la couche superficielle 28. Il est alors nécessaire que la zone spécifique d'analyse 32 se trouve à l'intérieur de la partie 28a en excluant les parties couvertes par le masque 29. De préférence, la zone spécifique d'analyse 32 est centrée sur le spot laser 31a, cette zone étant délimitée par le diaphragme de sélection 24a à l'entrée du connecteur optique 24. L'ouverture du diaphragme de sélection 24a est déterminée en fonction du grossissement de l'objectif 13, de la distance entre l'objectif 13 et la zone exposée 28a de la couche superficielle 28 de l'échantillon 2, et du rapport signal sur bruits du signal issu du monochromateur 8a. Le plan image du monochromateur 8a défini par la fente d'analyse 33 correspond à la zone spécifique

d'analyse 32 sur l'échantillon 2.

Sur la figure 3c est illustré 1 spot laser 31a, l'ouverture 25a du diaphragme de sélection 24a centrée autour de ce spot et une fente d'analyse 33 à l'entrée du monochromateur 8a. Entre le diaphragme de
5 sélection 24a et la fente d'analyse 33 se trouve le câble de fibres optiques 6 qui permet de véhiculer le faisceau lumineux réfléchi par la zone spécifique d'analyse 32 de l'échantillon 2 dans le monochromateur 8a.

Comme illustré sur la figure 4, le faisceau lumineux entré dans le
10 monochromateur 8a par la fente d'analyse 33 est projeté sur un réseau de diffraction à champ plan 34. Un élément photosensible 35 qui peut être sous forme d'une barrette constituée d'une pluralité de photodiodes (au nombre de 1024 par exemple) de n diodes CCD, ou une matrice de diodes CCD en m lignes et n colonnes. Pour une
15 barrette de diodes CCD dont chaque diode présente une dimension de $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$, la fente d'analyse peut être choisie légèrement supérieure ou égale à $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$.

L'élément photosensible 35 fournit l'intensité lumineuse pour chaque longueur d'onde λ du spectre du faisceau lumineux d'éclairage.
20 Comme représenté sur la figure 5a, le spectre analysé est limité par une longueur d'onde minimale λ_1 et une longueur d'onde maximale λ_2 . L'analyse spectrale du diagramme de la figure 5a permet de fournir de manière précise l'épaisseur instantanée e de la partie exposée 28a de la couche superficielle 28 de l'échantillon 2.

25 Simultanément ou consécutivement à l'analyse spectrale, on peut effectuer une interférométrie différentielle dans le temps pour une longueur d'onde λ_i prédéterminée choisie dans le spectre d'éclairag (figure 5b). L'analyse du diagramme d'intensité lumineuse en fonction du temps pour la longueur d'onde prédéterminée λ_i (figure 5b) permet
30 de fournir de manière connue en soi la vitesse de variation de l'épaisseur de la partie exposée 28a de la couche superficielle 28 de l'échantillon 2 pendant le procédé de gravure sur plasma.

En raison de son énergie élevée, on peut utiliser le faisceau laser réfléchi par l'échantillon 2 pour effectuer l'analyse interférométrique
35 différentiell (figure 5b) par le monochromateur 8a. Pour ne pas

perturber l'analyse spectrale, on peut choisir de préférence un source laser qui fournit une longueur d'onde située à une extrémité du spectre d'éclairage. Il est possible d'aménager électroniquement de façon connue en soi sur l'élément photosensible 35 du monochromateur une zone spécifique pour permettre l'analyse interférométrique du rayon laser. Cette zone spécifique comporte de préférence un revêtement atténuateur d'intensité lumineuse.

On peut, grâce à l'invention, suivre en temps réel l'épaisseur absolue (par analyse spectrale) et la vitesse instantanée de variation de l'épaisseur (par analyse interférométrique différentielle) de la zone non protégée 28a de la couche superficielle 28 de l'échantillon 2 pendant le procédé de gravure sur plasma par exemple, et de visualiser simultanément la cartographie monochromatique de la zone localisée 2a sur l'échantillon 2.

Bien entendu, l'invention s'applique à d'autres traitements sous vide des structures à couches minces pour surveiller la morphologie et l'épaisseur en temps réel et in situ de la couche superficielle de l'échantillon à traiter.

La figure 6 montre schématiquement une variante du dispositif précédemment décrit dans des cas où l'unité de surveillance 4 standard n'est plus suffisante pour accomplir son rôle, notamment lorsque les longueurs d'onde utilisées sont incompatibles avec les propriétés optiques des composants (objectif de la caméra, lames optiques semi-transparentes) ou lorsqu'il y a insuffisance de sensibilité d'analyse ou absorption par le matériau analysé. Dans ces cas extrêmes, on monte tout simplement un module additionnel 36 sur le boîtier 11 de l'unité de surveillance 4 standard.

Le module additionnel 36 fonctionne en parallèle en complément de l'unité 4. On peut par exemple utiliser une source d'éclairage par arc Xénon à haute luminescence qui émet un continuum dans l'ultraviolet. L'utilisation d'une telle source peut être incompatible avec l'unité 4 standard par sa forte émission de chaleur et par son incompatibilité avec l'objectif 13 de la caméra 12. La source d'éclairage au Xénon contenue dans le module additionnel 36 envoie un faisceau lumineux d'éclairage supplémentaire dans le spectre des

lumières ultraviolettes (d longueur d'ondes comprise entre 200 et 450 nm). Le faisceau d'éclairage additionnel traverse un objectif spécial 37 en quartz et est projeté sur l'échantillon à analyser à l'aide des lames optiques semi-transparentes 38 et 39. L'unité de surveillance 4 standard envoie aussi un faisceau lumineux comme décrit précédemment sur l'échantillon à analyser via la lame semi-transparente 39 en empruntant le même chemin optique que le faisceau d'éclairage additionnel. Le faisceau lumineux réfléchi est séparé en une partie pour l'unité de surveillance standard 4 pour notamment effectuer la visualisation cartographique de la morphologie de l'échantillon et une autre partie au module additionnel 36 qui, via un connecteur optique non représenté, est relié au câble de fibres optiques 6 qui est débranché du connecteur optique 24 de l'unité de surveillance 4 standard (figure 2). Le monochromateur effectue alors l'analyse spectrale dans le spectre de lumière ultraviolette et également l'analyse interférométrique différentielle comme décrite précédemment.

Le module additionnel devient également nécessaire lorsqu'il est nécessaire d'utiliser des faisceaux laser qui ne sont pas compatibles avec l'optique de visualisation de l'unité de surveillance standard 4.

REVENDICATIONS

5 1. Procédé de surveillance in situ et en temps réel de la morphologie et de l'épaisseur d'une zone localisée (2a, 32) de la couche superficielle (28, 28a) d'une structure à couches minces (2), la structure à couches minces étant enfermée dans une chambre de traitement (1) sous vide qui comporte une fenêtre (3) sur sa paroi supérieure, caractérisé en ce qu'il consiste à :

10 - envoyer un faisceau lumineux d'éclairage (30) de spectre prédéterminé et au moins un faisceau laser (31) sur la zone localisée (2a), les faisceaux (30, 31) empruntant un chemin optique commun centré sur l'axe optique (13a) de l'objectif (13) d'une caméra vidéo (12) et traversant la fenêtre (3) de la chambre de traitement pour atteindre la zone localisée;

15 - envoyer le faisceau lumineux réfléchi par la zone localisée qui emprunte ledit chemin optique commun (13a), d'une part vers le capteur matriciel (16) de la caméra vidéo à travers un filtre (25) dont la longueur d'onde caractéristique est voisine de la longueur d'onde du faisceau laser en vue de visualiser une cartographie monochromatique de la zone localisée (2a) par interférométrie différentielle, et, d'autre part vers un monochromateur (8a) à travers respectivement et
20 successivement un diaphragme de sélection (24a), un câble de fibres optiques (6) et une fente d'analyse (33) à l'entrée du monochromateur;

25 - effectuer à l'aide du monochromateur une analyse spectrale du faisceau lumineux réfléchi en vue de mesurer l'épaisseur de la couche superficielle (28a) dans une zone spécifique d'analyse (32) faisant partie de la zone localisée (2a) et/ou une interférométrie différentielle avec une longueur d'onde prédéterminée (λ_p) en vue de mesurer la vitesse de variation d'épaisseur de la couche superficielle dans ladite zone spécifique d'analyse (32).

30 2. Procédé de surveillance selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à délimiter la zone spécifique d'analyse (32) au moyen de l'ouverture du diaphragme de sélection (24a) de façon à exclure dans la zone localisée (2a) les parties non représentatives de la couche superficielle de l'échantillon aux fins d'analyse.

3. Procédé de surveillance selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer simultanément ou successivement l'analyse spectrale et l'interférométrie différentielle du faisceau lumineux réfléchi par la zone spécifique d'analyse (32) de l'échantillon (2).

4. Procédé de surveillance selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à émettre un faisceau lumineux d'éclairage dans un spectre qui recouvre au moins partiellement le spectre des lumières visibles.

5. Procédé de surveillance selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à choisir la longueur d'onde du faisceau laser comme la longueur d'onde prédéterminée (λ_p) pour effectuer l'interférométrie différentielle de la zone spécifique d'analyse (32) de l'échantillon (2).

6. Procédé de surveillance selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur d'onde du faisceau laser est située à l'une des extrémités du spectre du faisceau lumineux d'éclairage.

7. Dispositif de surveillance pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant :

- une unité de surveillance (4) qui comporte un boîtier compact (11) enfermant une caméra vidéo (12), une source d'éclairage (14), une source de rayons laser (15) et des composants optiques (18 à 23, 25),

- une unité (8) d'exploitation et de commande comportant un monochromateur (8a),

- un connecteur optique (24) et un connecteur électrique (17) montés sur le boîtier (11) de l'unité de surveillance (4) pour la relier via respectivement un câble de fibres optiques (6) et un câble électrique (7) à l'unité (8) d'exploitation et de commande,

- un clavier de commande (9) et un écran de visualisation (10) reliés à l'unité (8) d'exploitation et de commande, et

- une table (5) montée au-dessus de la chambre de traitement (1) pour assurer, d'une part, le déplacement horizontal de l'unité de surveillance (4) suivant deux axes afin de choisir la zone localisée et, d'autre part, le positionnement précis pour que les faisceaux lumineux

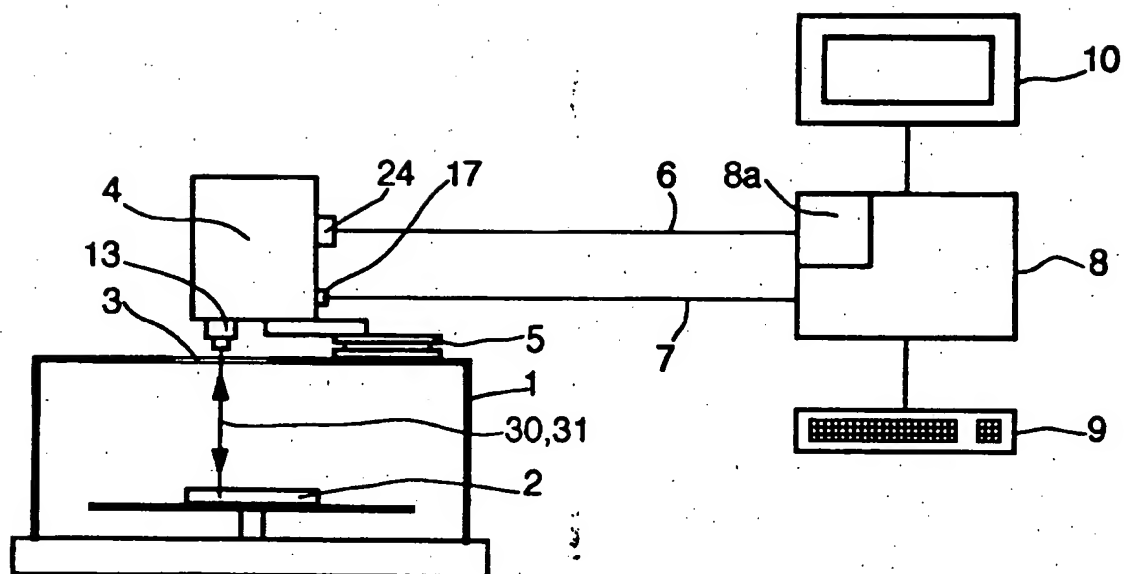
incidents et réfléchis par l'échantillon (2) empruntent un chemin optique commun (13a).

5 8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que le connecteur optique (24) comprend un diaphragme de sélection (24a) amovible ou réglable en ouverture.

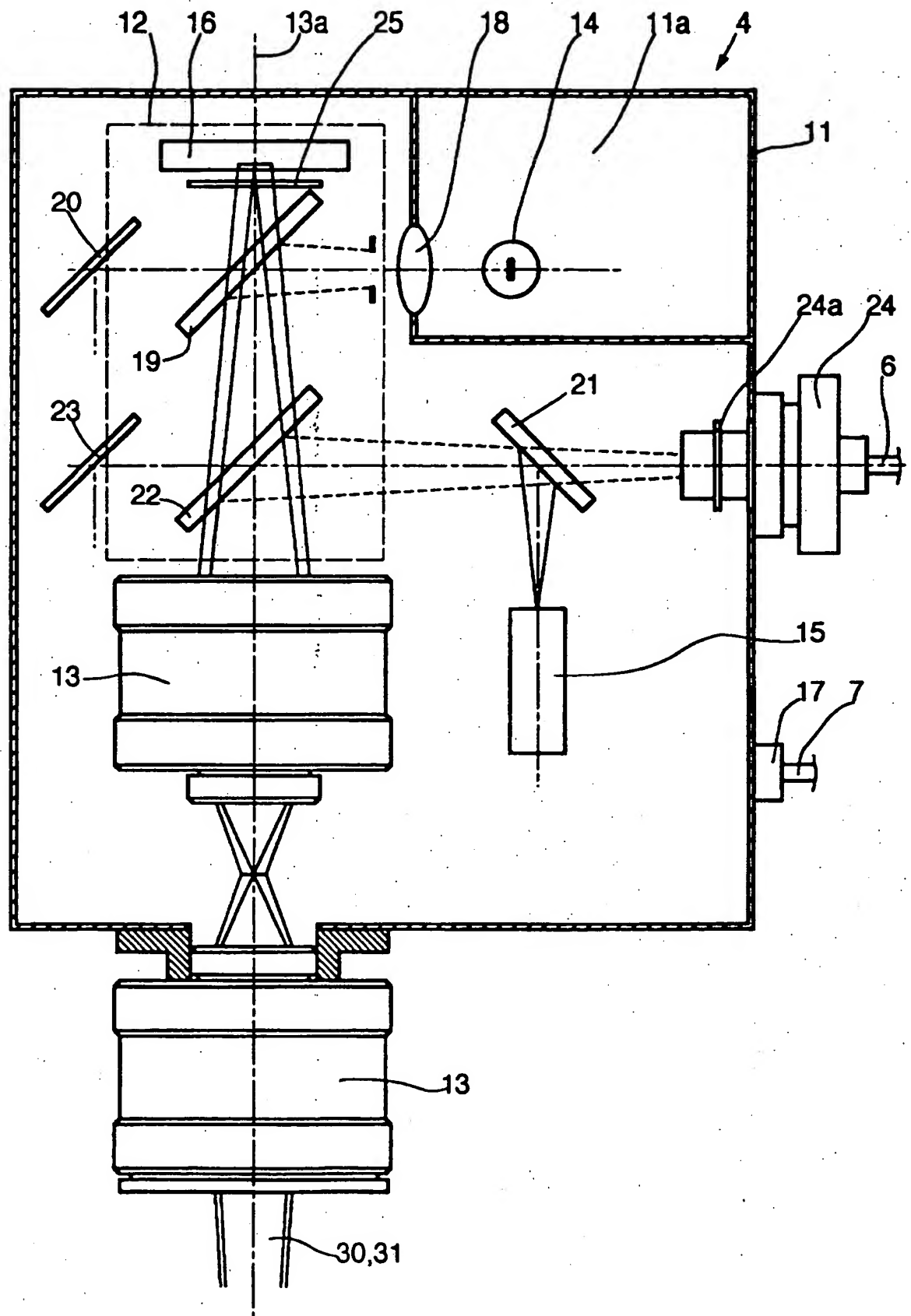
9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que le monochromateur (8a) comprend une barrette de diodes à transfert de charge (CCD) et une fente d'analyse (33) d'entrée dont l'ouverture est légèrement supérieure ou égale à la taille d'une diode de la barrette.

10 10. Dispositif selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend un module additionnel (36) monté de façon amovible sur le boîtier (11) de l'unité de surveillance (4) permettant d'envoyer un faisceau lumineux d'éclairage et/ou un faisceau laser incompatible avec les caractéristiques optiques de l'unité de
15 surveillance (4), des lames optiques semi-transparentes (38, 39) étant utilisées pour guider les faisceaux lumineux issus de l'unité de surveillance et du module additionnel selon un schéma optique commun vers l'échantillon (2).

FIG. 1

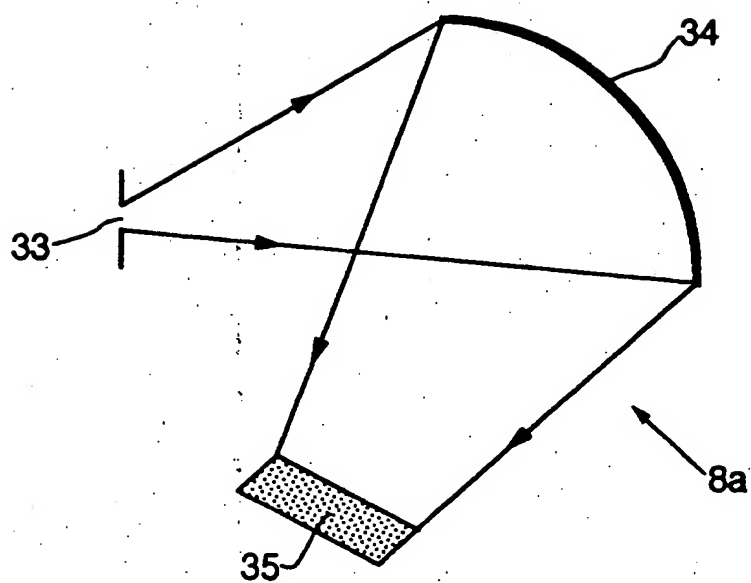
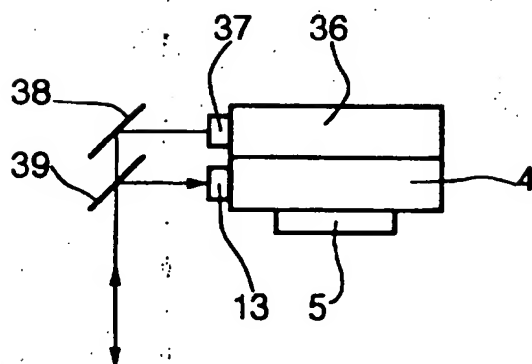


2/5

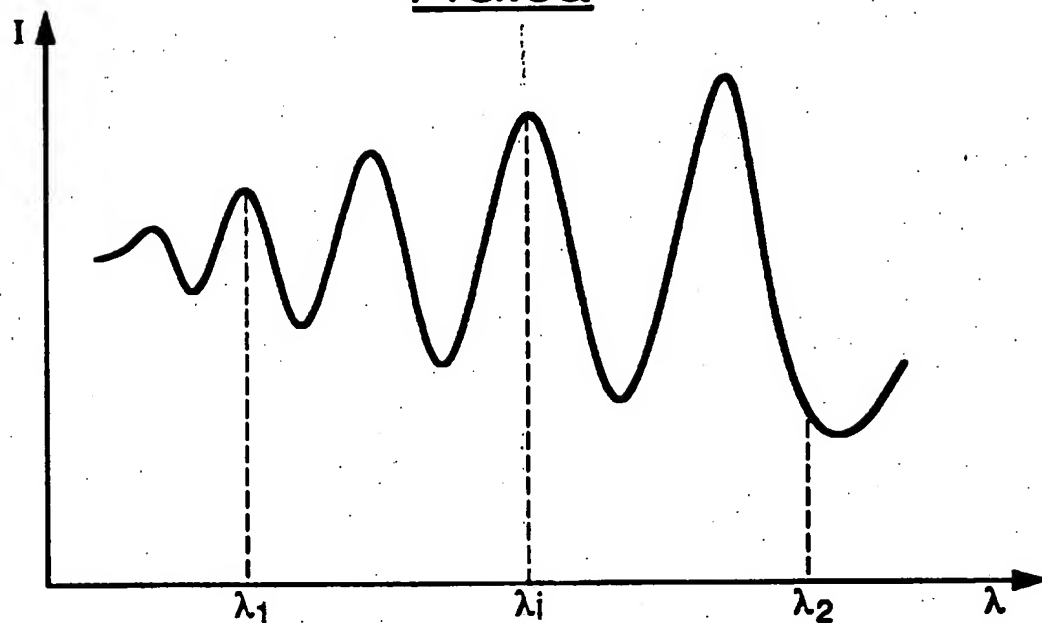
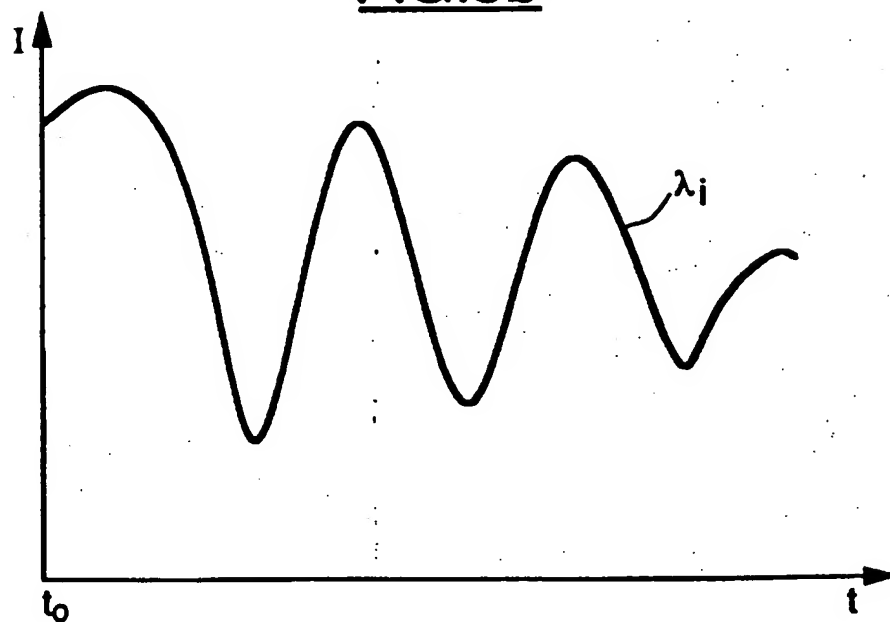
FIG. 2

A cross-sectional view of a semiconductor device. It features a substrate (2) with a first layer (26) and a second layer (27). A trench (28a) is formed in the substrate. A first layer (28) is deposited in the trench and on the surface. A second layer (29) is deposited on top of the first layer. A third layer (30) is deposited on top of the second layer. A fourth layer (31) is deposited on top of the third layer. The thickness of the first layer (28) is indicated as e and the thickness of the second layer (29) is indicated as e_0 .

4/5

FIG. 4FIG. 6

5/5

FIG.5aFIG.5b

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 498808
FR 9403981

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande accumulée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y,D	FR-A-2 680 414 (SOFIE) * page 3, ligne 17 - page 5, ligne 35; figure 3 *	1,4,5,7
Y	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 6, no. 125 (P-127) 10 Juillet 1982 & JP-A-57 052 807 (RICOH CO. LTD.) * abrégé *	1,4,5,7
A	---	3
A,D	US-A-4 984 894 (N. KONDO) * abrégé; figures 3,6 *	1,7
A	--- IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, vol.36, no.12, Décembre 1993, ARMONK, NY, USA pages 49 - 51 'Fourier-Spectrometer for Thickness Measurement' * page 50; figures 1,2 *	1,7
A	WO-A-86 01591 (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH COMPANY) * page 17 - page 21; figures 3,4 *	1,7
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.C.I.)
		G01B
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
12 Décembre 1994		Vorropoulos, G
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'un motif une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire</p>		
<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons A : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1
EPO F RM USO GUS (POCU)

